

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pencemaran Lingkungan Oleh Logam Berat

Penggunaan bahan organik dan logam berat secara berlebihan di dalam aktivitas rumah tangga maupun dalam kegiatan perindustrian telah mengakibatkan pencemaran baik di perairan maupun di dalam tanah. Diantara berbagai logam berat yang dapat mencemari lingkungan dan menjadi masalah yaitu, arsen (As), kadmium (Cd), krom (Cr), timbal/timah hitam (Pb), merkuri (Hg), nikel (Ni) dan tembaga (Cu). Beberapa dari logam-logam ini mampu masuk ke dalam tubuh makhluk hidup dan dapat tinggal dalam tubuh makhluk hidup tersebut dalam rentang waktu yang lama dan akan bersifat toksik. Dari antara logam-logam tersebut, salah satu yang paling banyak mencemari tanah dan air adalah logam tembaga. Tembaga (Cu) termasuk ke dalam salah satu unsur hara dalam jumlah mikro yang dibutuhkan tanaman (Fardiaz, 2008).

Menurut Nyabaken (1992) terdapat 2 mekanisme masuk logam berat ke dalam tubuh makhluk hidup, yaitu secara langsung dan tidak langsung. Mekanisme langsung terjadi melalui penyerapan logam berat terlarut oleh organisme yang melakukan proses penyerapan air dan nutrisi ke dalam tubuh. Pada umumnya mekanisme ini berlaku pada tumbuhan air, yang menyerap unsur-unsur hara untuk proses metabolisme, melalui proses difusi osmosis. Cara lain logam berat dapat masuk ke dalam tubuh organisme hidup adalah melalui rantai makanan.

Dalam proses makan-memakan, terjadi transfer bahan dan energi dari organisme yang dimangsa ke organisme pemangsa. Dalam susunan rantai

makanan, yang menjadi awal dari kegiatan tersebut adalah tumbuhan, yang berperan sebagai produsen. Produsen dalam proses selanjutnya akan dimakan oleh konsumen tingkat 1, konsumen tingkat 1 akan dimakan oleh konsumen tingkat 2, dan seterusnya (Nyabaken, 1992). Pencemaran yang diakibatkan oleh logam berat akan memberikan dampak yang buruk terhadap organisme, baik dari sifat racun maupun karsinogeniknya (Hardiyani, 2012).

B. Logam Tembaga

Logam tembaga (Cu) merupakan jenis logam berat yang bernomor atom 29, memiliki massa atom 63,546, titik lebur 1083 °C, titik didih 2310 °C, jari jari atom 1,173 Å dan jari-jari ion Cu^{2+} 0,96 Å. Logam Cu merupakan logam yang memiliki warna kemerahan. Logam Cu memiliki sifat toksik terhadap organisme (Kundari dan wiyuniati, 2008). Logam Cu dan berbagai jenis persenyawaannya seperti CuO , CuCO_3 , Cu(OH)_2 , dan Cu(CN)_2 memiliki sifat tidak bisa larut dalam kondisi basa, tetapi bisa larut dalam kondisi asam (Palar, 1994). Sifat toksik pada logam berat tembaga akan menunjukkan pengaruhnya apabila logam berat tersebut masuk ke dalam tubuh makhluk hidup dalam jumlah yang banyak (Palar, 1994).

Logam tembaga (Cu) dapat mencemari dan merusak kondisi lingkungan, baik pada, tanah, perairan maupun udara. Logam berat akan lebih berbahaya apabila telah tercemar ke lingkungan, misalnya pencemaran logam berat terhadap air. Jenis logam berat yang bisa mencemari air itu salah satunya Cu (Tembaga), Tembaga tercemar dalam air akibat dari proses pertambangan, buangan industri, dan pengelasan logam. Air menjadi tidak layak konsumsi lagi karena sudah

tercemar oleh logam berat, apabila dikonsumsi akan berakibat fatal terhadap tubuh misalnya timbul tekanan darah tinggi, kerusakan jaringan ginjal testibuler, dan kerusakan sel-sel darah merah. Sedangkan untuk kerusakan lingkungan akan berdampak terhadap kehidupan air (Palar, 1994).

Kehidupan air akan sangat terancam apabila logam berat tercemar di sungai, danau, atau laut. Terutama terhadap ikan-ikan yang hidup di sungai yang tercemar logam berat. pengaruh toksisitas Cu, Ni, dan Cr pada morfologi insang ikan salmon. Ikan akan mengalami hipoksia (karena kesulitan mengambil oksigen dari air), sehingga terjadi penebalan pada sel epitel insang dan berakibat ikan kurang mampu berenang (Palar, 1994). Kandungan logam berat Cu yang dapat mencemari tanah adalah apabila keberadaan logam berat Cu tersebut lebih besar dari 100 ppm di dalam tanah, sedangkan pada tanaman adalah jika keberadaan logam berat Cu tersebut lebih dari 20 ppm (Mengel dan Kirkby, 1987)

C. Fitoremediasi

Fitoremediasi merupakan suatu proses penggunaan bagian-bagian dari tumbuhan untuk menyerap bahan-bahan pencemar yang mencemari lingkungan secara *ex-situ*, yaitu dengan menggunakan reaktor atau kolam buatan maupun *in-situ* atau secara langsung pada wilayah atau daerah yang terkontaminasi bahan-bahan pencemar tersebut (Subroto, 1996). Fitoremediasi adalah suatu cara atau teknik untuk mengatasi permasalahan pencemaran di lingkungan yang diakibatkan oleh logam berat dengan menggunakan tanaman untuk menyerap dan mendetoksifikasi logam berat (Chaney dkk., 1997).

Kemampuan akar tanaman dalam mengakumulasi bahan pencemar di dalam jaringan (*phytotransformation*) juga merupakan tahap dari proses fitoremediasi. Selain itu, fitoremediasi juga berkaitan pada kemampuan tumbuhan dalam menstimulasi aktivitas biodegradasi oleh mikrobia yang berasosiasi dengan akar (*phytostimulation*) dan imobilisasi kontaminan di dalam tanah oleh eksudat dari akar (*phytostabilization*) serta kemampuan tumbuhan dalam menyerap logam dari dalam tanah dalam jumlah besar dan secara ekonomis digunakan untuk meremediasi tanah yang bermasalah (*phytomining*) (Chaney dkk., 1997).

Menurut Prayitno dan Priyanto (2007) mekanisme akumulasi dan dekontaminasi logam berat oleh tanaman digolongkan ke dalam tiga proses, yaitu:

1. Dekontaminasi akar.

Suatu tanaman akan membawa logam berat masuk ke dalam larutan yang berada pada bagian sekitar akar (*Rizosfer*). Senyawa-senyawa yang dapat dilarutkan dalam air akan diserap oleh akar bersamaan dengan air, Apabila senyawa yang bersifat hidrofobik akan diserap ke dalam bagian permukaan akar.

2. Pemindahan logam berat dari bagian akar tumbuhan ke bagian tumbuhan lain.

Setelah logam berat tersebut menembus lapisan endodermis bagian akar, logam berat tersebut akan ikut ke dalam aliran transpirasi yang akan menuju ke bagian atas tumbuhan tersebut melalui jaringan berkas

pengangkut (*Xilem dan Floem*) dan akan dibawa ke bagian tumbuhan lainnya.

3. Pembatasan logam berat yang terdapat pada sel dan jaringan.

Pembatasan tersebut berfungsi sebagai pelindung agar logam berat tersebut tidak menghambat metabolisme tumbuhan itu sendiri. Sebagai upaya yang dapat mencegah sifat toksik logam berat terhadap sel, tanaman memiliki mekanisme detoksifikasi, contohnya dengan cara menimbun logam yang berada dalam bagian-bagian tertentu contohnya akar.

Klasifikasi dari tahap fitoremediasi menurut United States Environmental Protection Agency (1999, 2005) dan Interstate Technology Regulatory Council (2001) adalah sebagai berikut :

1. Fitostabilisasi (*Phytostabilization*)

Bagian dari akar tumbuhan akan melakukan proses pengubahan bentuk polutan yang dilakukan dengan mengadsorpsi dan mengakumulasi polutan pada bagian permukaan akar. Proses ini dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan pencemaran lingkungan yang dihasilkan oleh zat-zat anorganik. Jenis tanaman yang biasa digunakan pada proses ini yaitu kedelai, dan jenis rumput bunga matahari.

2. Fitoekstraksi/Fitoakumulasi (*Phytoextraction/Phytoaccumulation*)

Bagian dari akar tumbuhan yang akan melakukan penyerapan polutan dan kemudian dipindahkan menuju bagian organ tanaman. Proses ini dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan pencemaran lingkungan yang dihasilkan oleh zat-zat anorganik. Jenis tanaman yang umum dipakai yaitu

jenis tanaman hiperakumulator seperti bunga matahari, jagung, dan tanaman pakis.

3. Rizofiltrasi (*Rhizofiltration*)

Bagian dari akar tanaman akan melakukan presipitasi pada bagian zona akar. Proses ini sangat cocok digunakan untuk bahan yang mudah larut. Oleh karena itu, pada kompos tidak memerlukan proses rizofiltrasi. Jenis tanaman yang biasa digunakan yaitu jenis tanaman air seperti eceng gondok dan Cattail.

4. Fitodegradasi/Fitotransformasi (*Phytodegradation/Phytotransformation*)

Organ tumbuhan dapat menyerap polutan dan kemudian menguraikannya melalui proses enzimatik. Proses ini sangat cocok menggunakan zat organik seperti fenol (yang terbentuk pada proses pengomposan daun mengandung lignin). Jenis tanaman yang biasa digunakan yaitu jenis rumput-rumputan.

5. Rizodegradasi (*Rhizodegradation*)

Bahan pencemar yang didegradasi oleh mikroba dalam tanah, dapat diperkuat oleh penambahan ragi, fungi, dan zat-zat yang dihasilkan oleh bagian akar tanaman atau Eksudat (seperti asam, alkohol, gula). Eksudat tersebut adalah makanan untuk mikroba yang akan mendegradasi polutan. Proses ini dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan pencemaran lingkungan yang dihasilkan oleh zat-zat anorganik. Jenis tanaman yang dapat digunakan yaitu jenis rumput-rumputan.

6. Fitovolatilisasi (*Phytovolatilization*)

Penyerapan polutan oleh tanaman yang selanjutnya akan dilepaskan dalam bentuk uap cair. Proses tersebut bermanfaat dalam mengatasi permasalahan pencemaran lingkungan yang dihasilkan oleh kontaminasi zat-zat anorganik. Jenis tanaman yang dapat digunakan yaitu tanaman pakis dan kapas.

Penyerapan dan akumulasi kontaminan tergantung pada sifat dan jenis tanaman (Singh dkk, 2007). Seleksi tanaman yang sesuai sangat penting untuk mengembangkan teknologi fitoremediasi (Fischerova dkk, 2006). Tanaman fitoremediasi harus tumbuh secara lokal, memiliki tingkat toleransi yang memadai terhadap kontaminan serta hubungan korelasi tinggi antara tingkat kontaminasi dalam lingkungan dan jaringan tanaman (Krolak, 2003). Menurut Rismawati (2012), penurunan kandungan logam berat dalam tanah mengindikasikan bahwa telah terjadi pemindahan logam dari tanah ke tumbuhan. Akar merupakan organ tanaman yang berfungsi sebagai penyerap unsur hara dan sekaligus merupakan organ yang kontak langsung dengan media tanam, sehingga tingginya konsentrasi logam pada tanah akan mempengaruhi tingginya kandungan logam pada akar tanaman yang ada di dalamnya (Lahudin, 2007).

Menurut Chen dan Cutright (2002), ada dua fungsi utama yang terlibat dalam penyerapan logam. Pertama adalah produksi senyawa logam pengkhelat oleh tanaman itu sendiri untuk membentuk senyawa kompleks yang lebih mobile dan kurang beracun bagi tanaman. Kedua adalah kelarutan logam yang mengasamkan rhizosphere. Ketika tanaman terkontaminasi logam berat, maka tanaman tersebut

dapat menghasilkan fitokhelatin yang membantu dalam kedua fungsi di atas untuk memfasilitasi penyerapan logam.

Fitokhelatin merupakan reaktif peptide-tiol yang terdiri dari glutation, sistein, dan glisin. Glutation adalah antioksidan alami dan digunakan dalam reaksi enzim selama pembentukan fitokhelatin (Gallego dkk, 2005). Fitokhelatin kemudian menyimpan logam berat di dalam vakuola yang merupakan sel, tempat penyimpanan dalam sel-sel tumbuhan. Penghilangan glutation dapat berfungsi sebagai sebuah mekanisme untuk toleransi logam (Alkorta dkk, 2004).

D. *Calotropis gigantea*, Wild

Tanaman biduri adalah jenis tanaman semak tegak yang banyak dimanfaatkan baik dari bagian daun, batang, ataupun akarnya (Kongkow, 2007). Tanaman biduri merupakan jenis tanaman tahunan yang memiliki kriteria tinggi tanaman dapat mencapai 0,5 – 3 m. Daun tanaman biduri berbentuk oval atau bulat telur bertipe tunggal dengan tangkai pendek yang menempel langsung pada batang. Bunga tanaman biduri memiliki tipe majemuk dan menempel pada di ujung batang (Ahmed dkk, 2005).

Bunga tanaman biduri akan berkembang menjadi buah yang memiliki bentuk oval atau bulat telur. Buah dapat berukuran 9 – 10 cm dan berwarna hijau. Biji di dalam buah berbentuk lonjong pipih dan memiliki warna kecokelatan. Batang tanaman biduri dapat mengeluarkan getah berwarna putih encer. Getah tersebut bersifat toksik dan memiliki bau yang menyengat (Kumar dkk, 1995).

Organ tumbuhan biduri mengandung beberapa senyawa aktif yang bisa dimanfaatkan dalam pengobatan beberapa penyakit luar atau penyakit dalam

(Kongkow, 2007). Secara umum, akarnya mengandung saponin, sapogenin, kalotropin, kalotoksin, uskarin, kalaktin, gigantin, dan harsa. Organ daun mengandung bahan aktif seperti saponin, flavonoid, polifenol, tanin, dan kalsium oksalat. Kandungan pada organ batang berupa tanin, saponin, dan kalsium oksalat (Kongkow, 2007).

Menurut Direktorat Jenderal Perkebunan (2013) klasifikasi tanaman Biduri adalah sebagai berikut:

Kerajaan	: Plantae
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Bangsa	: Gentianales
Suku	: Asclepiadaceae
Marga	: Calotropis
Jenis	: <i>Calotropis gigantea</i> Willd

Tanaman ini dapat bertahan hidup pada daerah atau wilayah yang gersang atau kering contohnya: lereng-lereng gunung yang rendah, pantai berpasir, dan padang rumput kering. Tanaman biduri merupakan tanaman yang tahan terhadap kekeringan, mampu beradaptasi dan mampu tumbuh liar sekitar 900 meter di atas permukaan laut. Tumbuhan perennial ini memiliki persebaran yang luas dibenua Asia dan Afrika, wilayah tropis dan subtropis (Kongkow, 2007).

E. Indeks Bioremediasi (IBR) dan Faktor Transfer (FT)

Efektivitas tanaman dalam menyerap logam berat dapat dilihat dengan melakukan pengujian pada medium tanam. Hasil pengujian yang terukur

kemudian akan dihitung sebagai indeks bioremediasi. Perhitungan Indeks Bioremediasi (IBR) yang merupakan tingkat penurunan konsentrasi tembaga (Cu) pada media tanam dilakukan berdasarkan data hasil perlakuan. Tingkat penurunan konsentrasi logam berat (%) diperoleh dengan membandingkan selisih konsentrasi awal dan akhir dengan konsentrasi awal kemudian dikalikan 100% (Tommy dan Palapa, 2009).

Perpindahan logam berat di lingkungan dinyatakan sebagai faktor transfer. Faktor transfer didefinisikan sebagai perbandingan konsentrasi pada jaringan tanaman atau hewan terhadap konsentrasi pada media. Faktor transfer dapat digunakan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan tanaman dalam menyerap bahan logam berat dari dalam tanah atau air. Nilai faktor transfer besarnya bervariasi bergantung pada jenis tanaman dan kondisi hidupnya (Tjahaja, dkk., 2006).

Dari nilai faktor transfer tersebut dapat dilihat apakah suatu tanaman tertentu dapat digunakan sebagai agen fitoremediator. Nilai faktor transfer lebih besar dari satu (< 20) menandakan bahwa tanaman tersebut mempunyai kemampuan mengakumulasi logam berat yang baik. Nilai faktor transfer sama ≥ 20 menandakan bahwa tanaman tersebut ekonomis dan efektif untuk diaplikasikan sebagai agen fitoremediator karena dapat menghemat biaya pembersihan sampai 95% (Tjahaja, dkk., 2006).

F. Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

Spektrometri Serapan Atom (SSA) adalah suatu metode analisis yang secara kuantitatif melakukan pengukuran berdasarkan pada proses penyerapan cahaya

menggunakan panjang gelombang tertentu oleh atom logam dalam keadaan bebas (Skoog dkk., 1998). Spektrometri Serapan Atom (SSA) berkaitan erat dengan pemaparan dari sinar matahari. Spektrometri Serapan Atom sendiri lahir pada tahun 1955, yang dipublikasikan oleh Walsh dan Alkemade & Milatz. Dalam publikasi tersebut Spektrometri Serapan Atom diterapkan sebagai metode analisis yang secara umum dapat diaplikasikan (Weltz, 1976).

G. Hipotesis

1. Tanaman biduri memiliki kemampuan dalam menyerap logam berat tembaga lebih dari 50 %.
2. Logam berat tembaga memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan akar, batang, daun, dan bunga tanaman biduri.